Lane Medical Library

Ueber die
Wärmeregulierung bei Muskelarbeit.

Versuche an marschierenden Soldaten bei verschiedener Belastung.

INAUGURAL-DISSERTATION

WELCHE

ZUR ERLANGUNG DER DOCTORWÜRDE

IN DER

MEDICIN UND CHIRURGIE

MIT ZUSTIMMUNG

DER MEDICINISCHEN FACULTÄT

DER

FRIEDRICH-WILHELMS-UNIVERSITÄT ZU BERLIN

AM 12. JUNI 1896

NEBST DEN ANGEFÜGTEN THESEN

ÖFFENTLICH VERTEIDIGEN WIRD

DER VERFASSER

Oskar Nehring
aus Wolfenbüttel.

OPPONENTEN:

Herr Dr. med. Berghaus.
„ Dr. med. Koldewey.
„ stud. jur. Nehring.

BERLIN.
C. VOGTS BUCHDRUCKEREI (Dr. E. EBERING)
Linkstrasse 16.

Meinen teuren Eltern

in Liebe und Dankbarkeit.

Die nachfolgende Arbeit verdankt ihre Entstehung den wissenschaftlichen Versuchen, welche im Sommer 1894 in dem tierphysiologischen Laboratorium der landwirtschaftlichen Hochschule in Berlin auf Veranlassung des Königlich Preussischen Kriegsministeriums angestellt wurden, um physiologische Merkmale für die zulässige Belastung des Soldaten auf Märschen zu gewinnen[1]). Fünf Studierende des Friedrich-Wilhelms-Instituts unterzogen sich den Untersuchungen, die unter Leitung des Herrn Professor Dr. Zuntz und des Herrn Stabsarzt Dr. Schumburg ausgeführt wurden.

Neben den Beobachtungen über die meteorologischen Verhältnisse der Marschtage und die Grösse der Arbeitsleistung wurden untersucht: Respiration, Puls, Temperatur, Herz- und Leberdämpfung, Blut, Urin, psychische Reaktion, ergographische Leistung, Stoffaufnahme und -Abgabe. Speziell an zwei Herren wurde die Stoffzersetzung auf dem Marsche genauer kontrolliert, indem zu Beginn und zum Schluss des Marsches Respirationsversuche angestellt wurden. Bei der Feststellung des Gaswechsels befanden sich die Versuchspersonen genau unter den gleichen Bedingungen wie auf dem Marsche, da sie sich auf einer Tretbahn im Marschtempo fortbewegten. Dies ermöglichte uns eine genaue Kenntnis der Wärmeproduktion. Auf Grund dieser Kenntnis und auf Grund der genauen Feststellung des Gewichtsverlustes, der sog. Perspiratio insensibilis und der exakten Beobachtungen über die meteorologischen Verhältnisse konnte eine rechnerische Untersuchung des Wärmehaushalts auf dem Marsche versucht werden.

---

[1]) Genaueres siehe: Deutsche Militärärztliche Zeitschrift. 1895. Heft 2. S. 49.

I. Methode der Berechnung.

Bei der Berechnung galt es vor allem, die Wärmeeinnahme und Wärmeausgabe zahlenmässig festzustellen. Erstere Grösse lässt sich aus dem Stoffwechsel leicht eruieren. Den Hauptanteil an der letzteren hat die Wasserverdunstung, welche aus der Perspiratio insensibilis mit genügender Genauigkeit abgeleitet werden kann. Der insensible Verlust ergiebt sich einfach durch Differenzrechnung: addiert man zum Anfangsgewicht die Menge der aufgenommenen Speisen und Getränke hinzu und zieht davon die Summe der Ausgaben (Harn und Kot), sowie das Endgewicht ab, so ergiebt der Restbetrag die Grösse der insensiblen Ausscheidungen. Diese bestehen fast ausschliesslich aus Wasser und Kohlensäure. Von der letzteren brauchen wir nur den Kohlenstoff in Rechnung zu stellen, da der an ihn gebunden ausgeschiedene Sauerstoff auch bei den Einnahmen nicht berücksichtigt ist. Nur diejenige Menge Sauerstoff, die aufgenommen und im Körper zur Wasserbildung zurückgehalten wurde, muss beachtet werden. Da wir nun aus den angestellten Respirationsversuchen die CO_2-Ausgabe und O-Aufnahme kennen, so ist es uns möglich, diese Grössen genau zu berechnen. Addiert man die Menge des im Körper gebliebenen Sauerstoffs zu dem gefundenen Betrage der insensiblen Ausscheidungen hinzu und subtrahiert die Menge des in der CO_2 ausgegebenen Kohlenstoffs, so erhält man die Zahl, die der perspirierten Wassermenge entspricht.

Welcher Anteil an dieser Wasserverdampfung der Lunge zukommt, lässt sich auf Grund unserer Kenntnis des Volums der ausgeatmeten Luft und des Feuchtigkeits- und Temperaturgrades der Aussenluft mit ziemlicher Sicherheit berechnen, da wir annehmen dürfen, dass die exspirierte Luft bei Körpertemperatur mit Wasserdampf gesättigt ist. Diese allgemein angenommene Anschauungsweise gründet sich auf Versuchsergebnisse, die Lavoisier und Seguin[1]), Brunner und Valentin[2]) und andere gewonnen haben. Sie haben gezeigt, dass die Temperatur der exspirierten Luft immer nur wenig verschieden von jener des

---

[1]) Lavoisier und Seguin, Premier mémoire sur la transpiration des animaux. Œuvres de Lavoisier, II. p. 709. Paris 1862.

[2]) Valentin, Lehrbuch der Physiologie des Menschen. Braunschweig 1844. I. S. 530 ff.

Blutes ist. Zwar erhebt Rubner[1]) Zweifel gegen die Genauigkeit der Versuche Valentins: „Selbst wären diese einwandsfrei, so würden dieselben doch nicht erlauben, einen Schluss auf die Erwärmung der die Schleimhaut berührenden Luftschichten zu geben, denn diese wird sicherlich nicht der mittleren Temperatur der Atemluft entsprechen.“ Nach Rubner wird auch die Atemluft keineswegs immer mit Wasserdampf gesättigt ausgeschieden, und namentlich modifiziert die Quantität der geatmeten Luft in einer noch nicht genügend gekannten Weise Temperatur sowie Wasserdampfsättigung der Atemluft.

Doch abgesehen davon, dass die Frage wohl noch nicht entschieden ist, da neuere experimentelle Untersuchungen meines Wissens als Beweise nicht vorliegen, so besitzt sie für unsere Betrachtungen wenig Bedeutung. Uns interessiert hauptsächlich die gesamte vom Körper abgegebene Wassermenge, nicht die von Lunge und Haut gesondert. Nur die in den Haupttabellen für die Grösse der Wasserverdunstung von der Lunge und Haut gesondert berechneten Zahlen können, wenn Rubners Einwände durch weitere Untersuchungen eine Stütze finden, durch die oben angeführte Berechnung von einem Fehler behaftet sein. Doch gesetzt den Fall, ein solcher liege vor: die Ausatmungsluft sei nicht bei Körpertemperatur mit Wasserdampf gesättigt, so kann immerhin, da beim Menschen erwiesenermassen[2]) die Atmung nicht wesentlich in den Dienst der Wärmeregulierung tritt, d. h. eine Aenderung der Atmung zwecks grösserer Wasserverdunstung von den Lungen kaum stattfindet, der Fehler nur ein geringer sein und muss stets nach der gleichen Seite hin einen Ausschlag geben.

Nachdem wir nach obiger Methode die verdunstete Wassermenge festgestellt haben, brauchen wir nur die durch das verdunstete Wasser gebundene Wärmemenge zu berechnen und diese der Wärmeproduktion gegenüber zu stellen, um einen Einblick in das Verhältnis der Wasserverdunstung zur Wärmeregulation beim marschierenden Soldaten zu gewinnen.

Die auf dem Marsche produzierte Wärmemenge können wir leicht berechnen, da wir den gesamten Stoffwechsel der Versuchsperson kennen und bei horizontalem Marsche

[1]) Rubner, Archiv für Hygiene, Bd. XX. S. 147.

[2]) Fick und Goldstein, Ueber Wärmedyspnoe, Inaugural-Dissertation. Richet, Polypnée thermique, Compt. rend. T. 105. No. 6.

die entwickelte mechanische Energie fast ihrer ganzen Menge nach durch Reibung und Spannung im Innern des Körpers wieder zu Wärme wird. Auf Grund der Kenntnis des respiratorischen Gaswechsels und der durch die Urinuntersuchungen festgestellten N-Ausscheidung im Harne können wir berechnen, in welchem Masse sich die Eiweisskörper, die Kohlehydrate und die Fette am Stoffwechsel beteiligen[1]). Durch die N-Ausscheidung im Harn ist uns die Eiweisszersetzung im Organismus während der Arbeit bekannt. Berechnet man nun die Sauerstoffmenge, die pro Min. zur Oxydation von Eiweiss verwendet wurde, sowie die dabei entstandene Menge Kohlensäure und zieht diese Werte von dem im Respirationsversuche gefundenen Sauerstoffverbrauch bezw. der Kohlensäureausgabe ab, so restiert diejenige Menge O bezw. CO_2, die zur Oxydation von Kohlehydraten und Fetten verbraucht bezw. bei deren Oxydation gebildet worden ist. Aus den respiratorischen Quotienten dieser Stoffe lässt sich dann ihr jeweiliger Anteil an dem Stoffwechsel eruieren. Nun braucht zu seiner Oxydation:

1 gr Eiweiss 1,3361 gr O_2, liefert 1,437 gr CO_2 und 4,047 Cal.; 1 gr. Fett braucht 2,861 gr O_2, liefert 2,783 gr CO_2 und 9,192 Cal.; 1 gr Kohlehydrat (Traubenzucker) braucht 1,067 gr O_2, liefert 1,467 gr CO_2 und 3,672 Cal.

Es ergiebt sich somit diejenige Wärmemenge, welche den zersetzten Körper- und Nahrungsbestandteilen entspricht.

Erläutern wir die Berechnungsweise der Wärmeproduktion an einem Beispiel:

Der Respirationsversuch ergab für Herrn B. pro 1000 m Weg und pro Kilo einen Sauerstoffverbrauch von 152,53 cc und bei einem respiratorischen Quotienten von 0,862 eine Kohlensäureabgabe von 131,48 cc. Durch die Urinuntersuchung wurde festgestellt, dass pro Kilo und Kilometer ausgeschieden wurden: 2,0771 mgr N.

Da 0,154 mgr N = 1 mgr zersetzten Eiweisses entspricht, so berechnet sich unter Zugrundelegung obiger Zahlen für eine N-Ausscheidung von 2,0771 mgr ein Sauerstoffverbrauch von 12,60 cc zur Oxydation von Eiweiss. Aus dem respiratorischen Quotienten des Eiweiss

---

[1]) Genaueres siehe Zuntz und Lehmann: Virchows Archiv. Bd. 131. Suppe. S. 178 ff.

(0,781) ergiebt sich die dabei entstandene CO_2-Menge = 9,840 cc.

Ziehen wir diese Sauerstoff- und Kohlensäuremengen von dem Gesamtverbrauch ab: 152,53 cc O_2 u. 131,48 cc CO_2
für Eiweiss 12,60 cc O_2 u. 9,84 cc CO_2
so restieren 139,93 cc O_2 u. 121,64 cc CO_2,
welche bei der Oxydation von Fett und Kohlehydraten verbraucht resp. gebildet wurden.

Setzen wir x = derjenigen Menge O_2, welche für Oydation von Fett und y = derjenigen Menge O_2, welche für Oxydation von Kohlehydraten verbraucht wurden, so haben wir die Gleichung:

$$\text{I. } x+y = 139{,}93$$

Da aber der respiratorische Quotient von Fett = 0,703 und für Kohlehydrat = 1 ist, so haben wir die zweite Gleichung:

$$\text{II. } x.\,0{,}703 + y.\,1 = 121{,}64$$

Durch Subtraktion der II. Gleichung von der I. erhält man

$0{,}297\ x = 18{,}29$

$x = 61{,}58$ cc O_2 zur Oxydation von Fett verbraucht.

Diese Zahl von 139,93 subtrahiert, ergiebt

78,35 cc O_2 zur Oxydation von Kohlehydraten verbraucht.

Berechnen wir die calorischen Aequivalente dieser zur Oxydation von Eiweiss, Fett und Kohlehydraten verbrauchten Sauerstoffmengen, so erhalten wir folgende Resultate:

Bei Oxydation von	Eiweiss	sind entstanden	54,59 cal.
„ „ „	Fett	„ „	284,66 cal.
„ „ „	Kohlehydrat	„	389,87 cal.
		Im Ganzen	729,12 cal. bei

Bewegung von 1 Kilo um 1 Kilometer horizontal.

Diese Zahl multipliziert mit dem Gewicht auf dem Marsche (90 kg) und mit der Länge des Weges (24 km), ergiebt die Gesamtwärmeproduktion auf dem Marsche = $729 \times 90 \times 24$ = 1576 Kilo-Calorien.

Ziehen wir von der so berechneten gesamten Wärmeproduktion auf dem Marsche jene durch Wasserverdunstung latent gewordene Wärmemenge ab, so könnten wir, handelte es sich um die ruhende Versuchsperson, den Rest als Verlust durch Strahlung und Leitung ansprechen. Rubner[1]) sagt mit Recht, dass dieser Rechnung nur ein

[1]) l. c. S. 270.

ganz geringer Fehler anhafte, nur 2,7 % der berechneten Wärme entfallen auf Erwärmung der Atmungsluft und des Harnwassers. Dies gilt jedoch nur für den Zustand der Ruhe. Beim Marschierenden trifft dies nicht ganz zu, da bei anstrengender Arbeitsleistung der Wärmevorrat des Körpers ein grösserer ist am Schluss der Arbeit als vor Beginn derselben. Es kommt also ausser der Strahlung und Leitung auch der Erhöhung des Wärmevorrats im Körper ein Anteil an dem Restbetrage zu.

Die vorstehend beschriebene Methode der Berechnung möge hier an einem Beispiel des Näheren erläutert werden:

Bei Herrn P. war am 5. VII. Marsch No. XXVIII,

die reelle Gewichtsabnahme des mit seinen Kleidern gewogenen Mannes (insensibler Verlust)	1693 g
Die Länge des Marsches betrug: auf dem Tretwerk	2 620 m
draussen	24 500 m
Im Ganzen	27 120 m
Das Durchschnittskörperwicht war	88,611 kg
Dazu kommt $^1/_{10}$ des Gewichts des Respirationsapparates, der beim Marsch auf dem Tretwerk (= $^1/_{10}$ des Marsches draussen) getragen wurde	0,135 „
Im Ganzen	88,746 kg
Der Sauerstoffverbrauch p. Kilo und Kilometer, abzüglich des Ruhewertes war	
vor dem Marsch	108,83 cc
nach dem Marsch	116,73 cc
Im Mittel	112,78 cc
Multiplizieren wir diese Grösse des Sauerstoffverbrauchs	112,78
mit dem Gewicht	88,746
und mit der Länge des Marsches in Metern	27120

so erhalten wir die für die gesamte Arbeitsleistung verbrauchte O-Menge (abzüglich des Ruhewertes) . . . $112{,}78 \times 88{,}746 \times 27120 = 271{,}44\ O_2$

Mittelst des respiratorischen Quotienten (= 0,81) berechnen wir das entsprechende Volum ausgegebner CO_2 uud daraus den in Rechnung zu stellenden C, da

$1\ g\ CO_2 = {}^3/_{11}\ g\ C$

und $1000\ cc\ CO_2 = {}^3/_{11} \times 1{,}967\ g\ C$

indem wir den Sauerstoffverbrauch 271,44 l
multiplizieren mit dem respiratorischen Quotienten 0,81
und mit $^3/_{11} \times 1{,}967$, und wir erhalten den während der Arbeitsleistung mehr ausgegebenen

$$C = 271{,}44 \times 0{,}81 \times {}^3/_{11} \times 1{,}967 = 117{,}93 \text{ gr C.}$$

Der Ruheverbrauch war bei Herrn P. pro Minute 283,02 cc O_2.
Multipliziert man diese Zahl mit dem respiratorischen Quotienten = 0,81 und der Verhältniszahl $C : CO_2 = {}^3/_{11} . 1{,}967$, so ergiebt sich als C-Ausgabe in der Ruhe p. Min. . 112,96 mg C.
Diese Grösse, mit der Zahl der Minuten, die der ganze Versuch in Anspruch nahm (Marsch + Pausen) . . . . . 420 min.
multipliziert, ergiebt diejenige C-Menge . . 51,64 g C
welche die Versuchsperson ausgegeben hätte, wenn sie während der ganzen Dauer des Versuches in Ruhe gewesen wäre. Es addiert sich also zu dieser Ruheausgabe von . . 51,64 g C
die Mehrausgabe für die geleistete Arbeit hinzu (s. o.), ... 117,93 g C
so dass die gesamte C-Abgabe sich stellt auf 169,57 g C.
Der Mehrverbrauch an Sauerstoff für die Zeit der Arbeit beträgt . . . . . 271,44 lO_2
an C gebunden beim resp. Quotienten von = 0,81 wurden wieder exhalirt $0{,}81 \times 271{,}44 =$ —219,86 lO_2.
Es sind im Körper geblieben . . . . . 51,58 lO_2.
Ferner sind bei einem Ruheverbrauch von 283,02 cc p. Min. in 420 Ruheminuten verbraucht 118,87 lO_2
beim respiratorischen Quotienten = 0,81 in CO_2 wieder erschienen . . . . . — 96,28 lO_2
also im Körper geblieben . . . . . 22,59 lO_2.
Diese 22,59 lO_2 entsprechen . . . . . 32,31 g O_2
obige 51,58 lO_2 „ . . . . . 73,77 g O_2
Im Ganzen 106,08 g O_2

Addieren wir nun zu dem insensiblen Verlust 1693 g
die Menge des im Körper gebliebenen Sauerstoffs 106,08 g
1799,08 g
und subtrahieren die Menge des ausgegebenen C 169,57 g
so ergiebt sich die Menge des perspirierten Wassers . . . . . 1629,51 g.

Wie verteilt sich nun dieser Wasserverlust von 1629,51 g auf Haut und Lunge?

Die Atemgrösse ist während des Marsches p. Min. gemessen zu Anfang 17,815 l
„ zum Schluss 17,32 l
Im Mittel 17,57 l.

Mutipliziert man diese Grösse mit der Zahl der Arbeitsminuten = 319, $17{,}57 \times 319$, so ergiebt sich die gesamte Atemluft während der Arbeit = 5604,75 l.

Hierzu kommt die in 101 Ruheminuten geatmete Luft bei einer durchschnittlichen Atemgrösse von 6,12 l p. Min = 618 l
Es wurden also während des ganzen Versuches geatmet = 6223 l

Die mittl. Körpertemperatur beträgt 37,9° C. Bei dieser Temperatur ist die Wasserdampfspannung = 48,99 mm. Es enthält also die während der Versuchszeit ausgeatmete Luft an Wasserdampf (reduz. auf 0° und 760 mm)

$$\frac{6223 \times 48{,}99}{760 \,.\, (1 + 0{,}0367 \,.\, 37{,}9)} = 352{,}16 \text{ l Wasserdampf.}$$

1 l Wasserdampf wiegt 0,80475 g. 352,16 l Wasserdampf wiegen also 283,4 g. Es wurden 6223 l atmosphärischer Luft inspiriert, die Lufttemperatur beträgt 18,1° C, dies entspricht einer Spannung von 15,427 mm. Da die rel. Feuchtigkeit der äusseren Luft 67 % betrug, so enthält die Inspirationsluft insgesamt an Wasserdampf

$$\frac{6223 \,.\, 15{,}427 \,.\, 67 \,.\, 0{,}80475}{100 \,.\, 760 \,.\, (1 + 0{,}0367 \,.\, 18{,}1)} = 63{,}8 \text{ g Wasserdampf.}$$

Diese Grösse von der exspirierten Wassermenge abgezogen, ergiebt eine durch die Lungen exspirierte Wassermenge von 219,6 g.

Die gesamte perspirierte Wassermenge ist 1629,5 g.
Ziehen wir davon den von der Lunge gelieferten Wasserdampf 219,6 g
ab, so ergiebt sich die von der Haut verdampfte Wassermenge 1409,9 g.
Addieren wir hierzu die Wassermenge, die in dem Unterzeug und in der Uniform geblieben, 812,0 g,
so erhalten wir die gesamte Wasserproduktion der Haut = 2221,9 g.

Addieren wir hierzu die Wasserdampfabgabe der Lungen 219,6 g,

so bekommen wir die Gesamtwasserabgabe des Körpers 2441,5 g.

Da die Verdampfungswärme für Wasser bei 37° C = 580, 8 Cal. beträgt, so ergiebt eine einfache Multiplikation dieser Grösse mit den eben gefundenen Wassermengen die den letzteren entsprechenden kalorischen Werte, welche der aus den Stoffwechseluntersuchungen berechneten Wärmeproduktion gegenübergestellt werden können. So entspricht z. B.

den 1629 g verdampften Wassers eine Wärmeabsorption von 946 Cal.

Zieht man diese Wärmemenge von der Wärmeproduktion 1749 Cal.

ab, so bleiben für Leitung, Strahlung und Zunahme des Wärmevorrats im Körper noch übrig 803 Cal.

Die vorstehende Rechnung wurde für jeden einzelnen Marsch durchgeführt. Die Ergebnisse der Berechnungen sind in Haupttabelle I und II zusammengestellt. Gehen wir nun zur Besprechung der Resultate über.

II. Resultate.

Um die Körpertemperatur des Menschen trotz der sehr wechselnden Aussenbedingungen dauernd auf normaler Höhe zu erhalten, ist eine besondere Einrichtung des Organismus nötig: die Wärmeregulation. Seit lange unterscheidet man die chemische und physikalische Wärmeregulation. Die erstere verändert durch erhöhte oder verminderte Stoffzersetzung die Wärmeproduktion (Voit, Pflüger u. s. w.). Bei der letzteren bleibt die Gesamtwärmeproduktion dieselbe, gleichgültig, ob die Temperatur steigt oder sinkt, aber die Mittel und Wege der Wärmeabgabe werden andere; so kann eine gesteigerte Atemfrequenz dem Körper durch Wasserverdunstung und durch Erwärmung der Atemluft Wärme entziehen. Die Haut vermag durch veränderte Blutfülle, durch Leitung und Strahlung sehr verschiedene Wärmemengen auszugeben, besonders aber die wechselnde Wasserverdampfung von der Körperoberfläche kommt wärmeregulierend in Betracht. Beim arbeitleistenden Organismus kann natürlich nur von einer physikalischen Wärmeregulierung die Rede sein, da die Höhe der Stoffzersetzung durch die zu leistende Arbeit

bestimmt wird. In sehr verschiedener Weise bedient sich der Organismus der verschiedenen Mittel, die ihm zur Wärmeabgabe zur Verfügung stehen. Nach Helmholz kommt

auf Erwärmung der Speisen 2,6 % der Gesamtproduktion
„ „ „ Atemluft 5,2 %
„ Lungenverdunstung 14,7 %
Im Ganzen 22,5 %.

Der Rest von 77,5 % bleibt für Leitung, Strahlung und Wasserverdunstung. Vierordt setzt für diese Grösse 87,5 % der Gesamtwärmeproduktion an. Diese Verhältniszahlen sind für den Ruhezustand berechnet. Man könnte glauben, dass sie im arbeitenden Organismus eine bedeutende Verschiebung erleiden würden. Dies ist aber für den Menschen nicht sonderlich der Fall, da, wie bereits oben erwähnt, bei diesem die Atmung nicht wesentlich in den Dienst der Wärmeregulation tritt. Nach unseren Untersuchungen wird auf einem 5 stündigen Marsche im Durchschnitt von der Lunge 200—250 g Wasser verdampft. Dieser verdampften Wassermenge entspricht eine Wärmeabsorption von 116—145 Calorien. Bei einer Wärmeproduktion von ca. 2000 Calorien entfällt auf die Lungenverdampfung nur 6—7 % der Gesamtwärmeproduktion. Ein wie geringer Bruchteil der produzierten Wärme durch Erwärmung der Atemluft ausgegeben wird, soll folgende kurze Berechnung zeigen:

Es wurden am 5. VII. Marsch No. XXVIII. (Siehe Haupttabelle I.) während des ganzen Versuchs 6223 l Luft von 18,1° C. inspiriert, sie wurden exspiriert mit einer Temperatur von 37,9° C, erlitten also eine Erwärmung um 19,8° C.

Die 6223 l Luft entsprechen bei 0° einem Volumen von

$$\frac{6223}{1+0{,}0367} = 5801{,}5 \text{ l.}$$

Ein Liter Luft von 0° und 760 mm wiegt = 1,2937 g.
Die ganze Menge also „ = 7505 g.
Diese Zahl, multipliziert mit der specifischen Wärme der Luft (0,23741)[1]) und der in den Lungen erlittenen Erwärmung (19,8° C), ergiebt die zur Erwärmung der Atemluft angewandten 35,28 Calorien.

[1]) Landolt-Börnstein, Tabellen, II. Aufl. S. 339.

Die Wärmeabgabe auf diesem Wege ist also nur ganz unbedeutend. Gegenüber der gesamten im Laufe eines Versuches produzierten Wärmemenge von durchschnittlich 2000 Calorien kann die Zahl vernachlässigt werden, da sie ja nur ca. $1^1/_2$ % der Gesamtwärmeproduktion beträgt. Der Haut fällt somit das Schwergewicht der Aufgabe zu, die Körperwärme des Marschierenden zu regulieren. Die regulatorische Thätigkeit der Haut besteht nun darin, dass unter dem Einfluss der äusseren Temperatur und unter gewissen inneren Bedingungen die Wärmeabfuhr auf allen drei Wegen — Leitung, Strahlung, Wasserverdunstung — beeinflusst wird. Das Mittel hierzu sind die Hautgefässe. Sie erweitern sich oder verengern sich je nach den die Gefässnerven erregenden äusseren oder inneren Momenten. Von der Blutfülle der Haut hängt aber ihre Temperatur ab. Nimmt nun die Temperatur der Haut zu, so werden die Bedingungen für Leitung und Strahlung günstiger, da die Wärmeabgabe auf diesen Wegen proportional ist der Differenz der Hauttemperatur und der Temperatur der umgebenden Medien. Von der Blutfülle und Temperatur der Haut hängt aber weiterhin auch die Wasserverdunstung auf der Hautoberfläche ab. Erismann hat gezeigt, dass die insensible Perspiration zum bei weitem grössten Teile den Schweissdrüsen entstammt. Die Schweissdrüsen sezernieren Wasser auf die Hautoberfläche zum Zweck der Verdunstung. Die Thätigkeit der Drüsenzellen ist nach Luchsinger und seinen Schülern und v. Nawrocki eine direkte Funktion nervöser Erregung. Dadurch, dass diese Forscher selbst am amputierten Bein noch volle 20 Minuten durch Nervenreizung Schweisssekretion hervorrufen konnten, bewiesen sie, dass eine weitgehende Unabhängigkeit der Sekretion von Blutdruck wie Kreislauf besteht. Unter den verschiedenen Reizen ist vorzugsweise die Wärme wirksam, und es ist auch der Wärmereiz, der das Bindeglied zwischen Muskelaktion und Schweisssekretion bildet. Jeder Wärmezufluss, der den Körper trifft, regt die Schweissabsonderung an. Der Grad der Schweissabsonderung ist abhängig von der Summe der Wärmequellen, die einerseits von der Peripherie her, andererseits von dem Körperinnern wirken. Daraus erklärt sich, weshalb die Wirkung der Muskelbewegung auf die Schweisssekretion durch die Höhe der auf die Körperperipherie wirkenden Temperatur beeinflusst wird, und wie umgekehrt die Wirkung der äusseren Wärme

auf die Thätigkeit der Schweissdrüsen modifiziert wird, je nachdem zu derselben Zeit Muskeln fungieren oder nicht.

Die Grösse der Schweisssekretion stellt sich nach unseren Untersuchungen folgendermassen dar. Auf einem 5stündigen Marsche wurden von Herrn P. 2436—3336 g Wasser abgegeben, wovon 200—250 g der Lunge entstammen und der Rest von ca. 2200—3100 g auf die Haut entfallen. Die letztgenannte enorme Menge wurde an einem Tage ausgeschieden (Siehe Haupttabelle I. $^3/_7$. Marsch XXVI), an dem die excessive Hitze von 26,4° C. herrschte. Bei Herrn B. (Siehe Haupttabelle II), der überhaupt weniger zum Schwitzen disponiert zu sein scheint, erreicht die Wasserabgabe im Durchschnitt nicht die gleiche Höhe wie bei Herrn P. Die Zahlen für den Gesamtwasserverlust des Körpers schwanken zwischen 1882—2248 g. An dem Tage excessiver Hitze ($^3/_7$) beträgt die Wasserabgabe nur 2129 g.

Entspricht nun der höheren Wärmeproduktion, der höheren Belastung auch eine höhere Wassersekretion? Zur Beantwortung dieser Frage stellen wir kurz die nötigen Zahlen aus der Haupttabelle I hier zusammen. (Siehe S. 17.)

Aus der nebenstehenden Tabelle ergiebt sich, welch grosse Bedeutung für die Höhe der Schweisssekretion der Belastung zukommt. Allerdings tritt ihr Einfluss hinter demjenigen, den die Lufttemperatur auf diese Funktion des Hautorgans ausübt, zurück. Bei gleicher Lufttemperatur aber bringt eine Mehrbelastung einen deutlichen Ausschlag hervor. Nehmen wir das Mittel von Marsch No. XXIV und XXV, so zeigt sich, dass bei 17,15°C eine Belastung von 31 kg eine Wasserabgabe von 2810 g hervorruft. In Marsch XXVII ist bei einer Temperatur von 17,3°C und bei 22 kg Belastung 2502 g Wasser vom Körper abgegeben worden. Eine Mehrbelastung von 9 kg, die einer Erhöhung der Wärmeproduktion auf dem Marsche von ca. 300 Calorien entspricht, ruft eine Steigerung der Wasserabgabe des Körpers um 300 g hervor. Diese Wassermenge aber vermag bei ihrer Verdunstung ca. 180 Calorien, also mehr als die Hälfte des Zuwachses, den die Wärmeproduktion erfährt, zu binden. Noch mehr würde der Einfluss der grösseren Belastung ins Auge springen, wenn die Differenzen in der Windstärke an den aufgeführten Marschtagen nicht so erhebliche wären. Es weisen die Märsche mit schwererem Gepäck eine bedeutend stärkere Luftbewegung auf als diejenigen mit leichterer Belastung. Da aber ein stärkerer

Marsch No.	Datum	Meteorologische Daten				Belastung.	Wärme-Produktion auf dem Marsch	Wasserverlust des Körpers in toto	Wasserverlust durch die Haut
		Temp. der Luft	rel. Feuchtigkeit der Luft	Besonnung	Windstärke				
		°C.	in %			in Kilo	in Cal.	in g	in g
XXIII.	26./6	14.0	54.3	Meist bewölkt	WNW 5	31	2078	2726	2457
XXIV.	27./6	15.8	59.1	Bewölkt-sonnig	NNW 3—4	31	2065	2436	2200
XXV.	28./6	18.5	51.4	Meist sonnig	1,2—3	31	2040	3184	2899
XXVI.	3./7	26.4	54.0	Sonnig	0—1	22	1711	3366	3197
XXVII.	4./7	17.3	77.3	Bewölkt-sonnig	0—1	22	1775	2502	2305
XXVIII.	5./7	18.1	67.0	Sonnig-bewölkt	0—1	22	1749	2441	2221

Wind die Bedingungen für Wärmeabgabe durch Leitung und Strahlung günstiger macht, so bedarf es zur Kompensierung einer Mehrproduktion von Wärme nur einer verhältnismässig geringen Erhöhung der Schweisssekretion.

Interessant sind die Zahlen, welche wir erhalten, wenn wir den calorischen Wert der ganzen secernierten Wassermenge der Wärmeproduktion gegenüberstellen.

Versuchsperson	Marsch No.	Datum	Wasserverlust des Körpers in g	Calorischer Wert des Wasserverlustes in Cal.	Wärmeproduktion auf dem Marsche in Cal.	Die Wärmeproduktion übersteigt den calorischen Wert des Wasserverlustes
Herr P.	XXIII.	26./6	2726	1583	2078	495
„	XXIV.	27./6	2436	1415	2065	650
„	XXV.	28./6	3180	1847	2040	193
„	XXVI.	3./7	3366	1952	1711	—241
„	XXVII.	4./7	2502	1453	1775	344
„	XXVIII.	5./7	2441	1416	1749	333
Herr B.	XXIII.	26./6	1882	1093	1837	744
„	XXV.	28./6	2157	1256	1839	588
„	XXVI.	3./7	2129	1237	1806	569
„	XXVIII.	5./7	2248	1304	1936	632

Wäre wirklich alles vom Körper hergegebene Wasser zur Verdunstung gelangt, so hätte in den meisten Fällen fast die ganze auf dem Marsche produzierte Wärmemenge allein durch Wasserverdunstung kompensiert werden können. Im Durchschnitt deckt die Verdampfungswärme des sezernierten Wassers mehr als $^3/_4$ der Gesamtwärmeproduktion. In einem Falle (Marsch Nr. XXVI, Herr P), an dem excessiv heissen Tage ist die Wasserabgabe des Körpers eine so gewaltige, dass, wenn die sezernierte Menge wirklich verdampft wäre, nicht nur die Wärmeproduktion vollständig gedeckt, sondern sogar überkompensiert wäre. Herr P. produzierte an Wärme auf dem Marsche Nr. XXVI 1711 Calorien, der calorische Wert des von ihm abgegebenen Wassers beträgt aber 1952 Calorien,

es hätten also noch 241 Calorien mehr, als überhaupt produziert wurden, gedeckt werden können.

Dies beweist, ein wie mächtiges Mittel die Schweisssekretion durch Vermittelung der Wasserverdunstung für die Regulierung der Körperwärme ist. Solange der Körper nicht an Wasser verarmt und die Bedingungen der Verdunstung nicht allzu ungünstige sind, kann allein diese eine Funktion des Hautorgans völlig ausreichen, den Körper vor Ueberhitzung zu schützen und die Körpertemperatur normal zu erhalten. Hieraus ist zu entnehmen, in wie reichem Masse der Organismus an sich befähigt ist, seine Eigenwärme zu regulieren. Ob aber die vom Organismus gebotene Wärmeregulation völlig in Wirksamkeit treten kann, das hängt von den äusseren Bedingungen ab.

Das Sekretionsorgan der Haut entleert Wasser auf die Hautoberfläche nach Massgabe des inneren Körperzustandes zwecks der Verdunstung, aber durch äussere Umstände wird diejenige Menge bestimmt, die von diesem sezernierten Wasser zur Verdampfung, somit zur Wirkung kommen kann. In unseren Versuchen fanden wir 335—995 g Wasser in der Uniform und den Unterkleidern zurückgehalten, Wassermengen, die bei ihrer Verdunstung 195—577 Calorien Wärme hätten binden können.

Die Grösse der Wasserverdunstung auf dem Marsche hängt, abgesehen von der Höhe der Schweisssekretion, lediglich von den physikalischen Verhältnissen ab. Die Wassermenge, die von der Körperoberfläche abdunsten kann, wird, wenn wir die in unseren Versuchen stets gleiche Kleidung ausser Acht lassen, durch die atmosphärischen Verhältnisse, die Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit, die Besonnung und die Windstärke bestimmt.

Ehe wir auf die Wirkung der einzelnen Faktoren, die für die Wasserverdunstung von Bedeutung sind, näher eingehen, wollen wir zuerst die zahlenmässige Grösse der Wasserverdunstung und ihr Verhältnis zur Höhe der Wärmeproduktion ins Auge fassen.

Die Menge des auf einem 5stündigen Marsche verdunsteten Wassers schwankt bei Herrn P. zwischen 1026—2845 g; bei Herrn B. bewegen sich die Zahlen zwischen 820—2057 g. Der niedrigste Wert der Wasserverdunstung bei Herrn P. (1026 g) wurde festgestellt an einem Tage (Siehe Haupttabelle I. $^{23}/_{5}$ Marsch Nr. X), der ausser der niedrigsten Temperatur und niedrigsten

relativen Lufttrockenheit den heftigsten Wind, der in der ganzen Versuchsreihe vorkommt, aufzuweisen hatte; dazu war der Himmel bewölkt und trübe. Die grösste Menge Wasserdampf (2845 g) gab Herr P. am 28./6. (Marsch Nr. XXV) ab, an einem Tage, der eine der höchsten Lufttemperaturen, die höchste relative Lufttrockenheit und ziemlich heissen Sonnenbrand zeigte. Es waren dies der für die Wasserverdunstung ungünstigste und günstigste Tag der ganzen Versuchsreihe. Zum Vergleiche unserer Zahlenwerte mit den von anderen Autoren für die Wasserdampfabgabe gefundenen Grössen mögen hier die wenigen in der Litteratur sich bietenden diesbezüglichen Angaben zusammengestellt werden.

Pettenkofer und Voit[1]) haben bei ihren Stoffwechselversuchen am Menschen auch die verdunstete Wassermenge bestimmt; sie fanden folgende Grössen, die sich teils auf Variation der Ernährung, teils auf den Einfluss der Arbeitsleistung beziehen.

	In 24 h abgegeb. Wasser in g	Mittl. Lufttemp. in °C.
I. Hunger, Ruhe	828,9	14,1
II. „ „	891,1	15,1
III. „ „ (grössere Wasseraufn.)	1778,5	16,0
IV. Mittlere Kost, Ruhe	828,0	18,6
V. „ „ „	1009,3	16,4
VI. „ „ „	957,4	15,4
VII. „ „ Arbeit	2042,5	22,0
VIII. „ „ „	1411,5	16,1
IX. Eiweissreiche Kost, Ruhe . . .	1110,4	15,6
X. „ „ „ . . .	1207,5	16,3
XI. N-lose Kost, Ruhe	925,4	16,4
XII. Morg. u. abends gleiche Kost, Ruhe	1071,1	19,3
XIII. Mittlere Kost, Ruhe (Mann II) .	902,6	14,0

Dieselben Autoren machten bei Stoffwechseluntersuchungen am Leukämischen[2]) die auffallende Beobachtung, dass der Leukämiekranke mehr Wasser durch Haut und Lungen abgiebt als der normale Mensch bei gleicher Nahrungsaufnahme und gleicher Quantität Harn: Wenn der normale Mensch in 24 Stunden 931 g Wasserdampf abgiebt, scheidet der Leukämiker 1284 g aus. Man kann

[1]) Pettenkofer und Voit, Zeitschr. für Biologie Bd. II. S. 459.
[2]) Pettenkofer und Voit, Zeitschr. für Biologie Bd. V.

angesichts dieser Angaben ein Bedenken über die Gleichheit der Versuchsbedingungen wohl nicht unterdrücken, so dass dieses Ergebnis als eine Eigentümlichkeit der Krankheit nicht ohne weiteres bewiesen sein dürfte. Munk [1]) fand im Mittel an Cetti pro Hungertag 802 g für Wasserverdampfung, einen Wert, der mit dem von Pettenkofer und Voit unter gleichen Bedingungen gefundenen (829 g) gut übereinstimmt. Doch all die angeführten Beobachtungen beziehen sich, wie schon Cramer[2]) hervorhebt, nur auf den Einfluss fast ruhender Zimmerluft. Selbst die stärkste Ventilation des Respirationsapparates Pettenkofers und Voits kann nicht die Wirkung einer mittleren Luftbewegung, wie sie im Freien herrscht, hervorbringen. Die citierten Angaben können also nur vergleichsweise herangezogen werden. So entspricht die während eines 5stündigen Marsches unter den für die Verdunstung ungünstigsten Verhältnissen perspirierte Wassermenge ungefähr derjenigen, die von einem ruhenden Manne in 24 Stunden abgegeben wird. Die höchste Perspirationsgrösse des marschierenden Infanteristen (für 5 Stunden) übertrifft noch um ein Bedeutendes (um $^1/_2$—$^1/_3$) das von Pettenkofer und Voit für den Arbeitsversuch gefundene Tagesmittel; allerdings ist auch die Arbeit, die der Marschierende leistet, und dementsprechend die bei der Arbeit produzierte Wärme während der 5 Marschstunden viel grösser, als bei der ganzen in den 24 Stunden von der Versuchsperson Voits geleisteten Arbeit. Letzterer schied im Hunger 470 g, bei mittlerer Kost 281 g CO_2 mehr aus als an den Ruhetagen[3]). Diesen CO_2-Mengen entspricht eine Wärmeproduktion von 1500 bezw. etwas über 800 Calorien. Von dieser Energie wurde ein nicht unerheblicher Teil, nach den Versuchen von Katzenstein[4]) zu schliessen, etwa $^1/_4$ nach aussen übertragen, sodass im Körper eine Mehrproduktion von durchschnittlich kaum 1000 Calorien anzunehmen ist. Unsere Marschierenden produzierten dagegen in 5 Stunden 1500—2100 Calorien und mussten dementsprechend auch mehr Wasser im Dienste der Wärmeregulation verdampfen.

---

[1]) Munk, Virchows Arch. Bd. 131. Suppl. S. 114.

[2]) Cramer. Arch. f. Hygiene. Bd. X, S. 231.

[3]) Siehe Voit in Hermanns Handbuch der Physiologie Bd. VI, I. T. S. 201.

[4]) Katzenstein, Arch. f. d. ges. Physiol. Bd. XLIX. 330.

Berechnen wir, in welchem Verhältnis die durch das verdunstete Wasser gebundene Wärme zur Wärmeproduktion steht, so ergiebt sich, dass in der grösseren Mehrzahl der Fälle mehr als die Hälfte der gesamten produzierten Wärmemenge durch die Wasserverdunstung kompensiert worden ist. Für Leitung, Strahlung und Erhöhung des Wärmevorrats im Körper blieb meist weniger als die Hälfte der Wärmeproduktion.

Dies ist im Groben die Bedeutung der Wasserverdunstung für die Wärmeregulation. Um jedoch den feineren Mechanismus der Wärmeregulierung zu studieren, müssen wir näher auf die einzelnen Momente eingehen, die auf die Wasserverdampfung einen Einfluss ausüben.

Wenn wir die physikalischen Bedingungen der Wasserverdunstung betrachten, ist ohne weiteres klar, dass ihre Grösse von der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit abhängig sein muss. Mit steigender Aussentemperatur nimmt die Fähigkeit der Luft, Wasserdampf aufzunehmen, zu, umgekehrt sinkt diese Fähigkeit bei wachsender Luftfeuchtigkeit. Es steht somit die Wasserverdampfung zu der Lufttemperatur in direkt proportionalem, zur Luftfeuchtigkeit in umgekehrt proportionalem Verhältnis. Weitere bedeutsame Faktoren sind Besonnung und Wind. Durch die Sonnenstrahlen wird sowohl die Temperatur der Luft in die Höhe getrieben, als auch die Temperatur der zwischen den Kleidern und dem Körper eingelagerten Luftschichten durch Absorption der Strahlen in den Kleidungsstoffen gesteigert. Beides bedingt eine leichtere Verdunstung des Wassers von der Körperoberfläche. Die Bedeutung des Windes liegt darin, dass er eine stete Erneuerung der den Körper umgebenden Luftschicht herbeiführt. Während die Luft am Körper vorbeistreicht, wird sie erwärmt und hat somit stets die Fähigkeit, Wasserdampf aufzunehmen. Neben diesen atmosphärischen Verhältnissen kommt als bestimmend für die Höhe der Wasserverdunstung in Betracht die Wärmeproduktion, die Arbeitsleistung. Durch erhöhte Wärmeentwicklung im Körper wird vor allem die Schweisssekretion befördert und somit ist in grösserem Masse die Möglichkeit gegeben, dass Wasser zur Verdunstung kommen kann.

In welchem Verhältnis stehen nun die aufgeführten Faktoren zu einander, und welche Bedeutung kommt den einzelnen zu?

Diese Frage ist schon mannigfach ventiliert worden. Weyrichs[1]) umfangreiche Untersuchungen haben nicht eben viel zur Lösung der Frage beigetragen, da die angewandte Methode eine zu ungenaue war. Reinhard[2]) konnte zeigen, dass neben der Luftfeuchtigkeit, besonders die Lufttemperatur den bedeutendsten Einfluss auf die Wasserverdunstung ausübt. Die viel vollkommeneren Experimente Erismann's[3]) beweisen, dass von grösster Bedeutung Aenderungen in der Luftfeuchtigkeit sind; erst an zweiter und dritter Stelle kommt Lufttemperatur und Luftbewegung. Die exaktesten Untersuchungen auf diesem Gebiete hat Rubner[4]) angestellt. Während die früheren Autoren meist nur einen kleinen Teil der Hautoberfläche auf die Wasserdampfabgabe untersuchten, stellte Rubner die vom ganzen Körper perspirierte Wassermenge fest. Er wies die Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit als die bedeutsamsten Faktoren bei der Wasserverdunstung nach. Abgesehen davon, dass die Experimente Rubners an Tieren (Hund, Meerschweinchen) angestellt sind, die fast gar keine Schweissdrüsen besitzen, somit die interessanten Ergebnisse nicht ohne weiteres auf den Menschen übertragen werden können, so muss man auch den Umstand in Betracht ziehen, dass diese Versuche am ruhenden Tier und bei sehr schwach bewegter Luft vorgenommen wurden. Genauere Untersuchungen über die Bedingungen für die Wasserverdunstung im Freien, unter Berücksichtigung der verschiedenen atmosphärischen Einflüsse fehlen noch ganz. Es mögen daher die nachfolgenden Betrachtungen, die versuchen, zur Klärung dieser Verhältnisse ein Geringes beizutragen, nicht ohne Interesse sein.

Da uns aus dem Datenmaterial der Versuche die exakten Beobachtungen über Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Besonnung, Windstärke, Belastung und Weglänge zur Verfügung stehen, so ist der Versuch zu rechtfertigen, die Bedeutung dieser einzelnen Momente für die Wasserverdunstung zu eruieren. Wir haben es hierbei nicht mit den günstigen Verhältnissen des Tierexperimentes zu thun, bei dem wir durch geeignete Versuchsanordnung jeden

---

[1]) Weyrich, die unmerkliche Wasserverdunstung der menschl. Haut. Leipzig 1862.
[2]) Reinhard, Zeitschr. f. Biologie Bd. V. S. 28.
[3]) Erismann, Zeitschr. f. Biologie. Bd. XI, S. 1—78.
[4]) a. a. O.

Faktor einzeln wirken lassen können. Unsere Zahlenreihen stehen unter dem gleichzeitigen Einfluss der mannigfachen Bedingungen, wie sie ausserhalb des Experimentes im gewöhnlichen natürlichen, physiologischen Prozess sich finden.

Wir gingen zuerst von der Betrachtung aus, dass aus der ziemlich grossen Zahl der Versuche wohl einzelne Gruppen herauszufinden seien, bei denen die Wirkung des einzelnen Faktors gesondert beobachtet werden könnte, indem bei der Vergleichung der Einfluss der übrigen gleichbleibenden Versuchsbedingungen eliminiert würde. Doch bei einer genauen Zusammenstellung und Vergleichung der Versuche mussten wir erkennen, dass trotz der nicht ganz kleinen Zahl kaum ein einziger Versuch eine so weitgehende Uebereinstimmung in den Versuchsbedingungen mit einem zweiten aufwies, dass daraus die Bedeutung eines einzelnen Faktors für die Wasserverdampfung sich einwandsfrei ableiten liess. Wir mussten also diese Methode, die uns zu leicht der Täuschung aussetzte und deren Resultate, weil nicht aus der ganzen Zahl der Versuche sich ergebend, zu sehr von der Willkür in der Auswahl der zu vergleichenden Versuche abhängig war, fallen lassen. Herr Professor Dr. Zuntz hatte die grosse Güte, den Weg zu weisen, der allein uns dem Ziele näher bringen konnte. Er schlug vor, zur Lösung der Frage den mathematischen Weg zu beschreiten, die Ausgleichsrechnung anzuwenden. Für die liebenswürdige Anleitung und Unterstützung bei der Ausführung der Berechnungen bin ich Herrn Professor Dr. Zuntz, der sich die weitere Verfolgung dieser Methode in diesbezüglichen Untersuchungen vorbehält, zu grossem Danke verpflichtet.

Ehe wir zur Aufstellung der zu mittelnden Gleichungen gehen, müssen wir uns über die Prinzipien, nach welchen dieselben zu formieren sind, klar werden. Es ist ja von vornherein die Möglichkeit nicht ausgeschlossen, dass die Beziehungen der Temperatur und der anderen Faktoren zur Grösse der Wasserverdunstung durch irgend eine komplizierte Kurve ausgedrückt würde. Man könnte diesem Umstand in der Weise Rechnung tragen, dass wir, wie dies ja die Physiker allgemein bei Ausgleich ihrer Beobachtungen zu thun pflegen, mehrere Potenzen der zu bestimmenden Unbekannten in die Beobachtungsgleichungen aufnehmen. Für die erste Orientierung aber glaubten

wir bei der immerhin nicht sehr grossen Zahl der Beobachtungen hiervon Abstand nehmen zu sollen, und konstruierten deshalb die Gleichungen unter der Voraussetzung, dass die einzelnen Faktoren im linearen Verhältnis ihrer Grösse auf die Wasserverdunstung einwirken.

Aus jedem Versuch bildeten wir uns also eine Beobachtungsgleichung, indem wir die Grösse der Wasserverdunstung auf 1000 Calorien Wärmeproduktion berechneten. Die physikalischen Momente führten wir in der Art in die Gleichungen ein, dass wir als Nullwerte die Temperatur von 10°C, absolute Feuchtigkeit (= 0% rel. Trockenkeit)[1]), Windstille und fehlende Sonnenbestrahlung annahmen. Wir setzen also:

x = Zuwachs der Wasserverdunstung in g für 1° C Temperaturzunahme.
y = „ „ „ „ „ „ 1 % Zunahme der rel. Trockenheit.
z = „ „ „ „ „ „ 1/10 Einheit der 10 teiligen Windskala.
s = „ „ „ „ „ „ 1 Einheit der Sonnenbestrahlung.

c = Konstante, d. h. derjenigen Wassermenge, welche verdunstet, wenn alle anderen Einflüsse den Wert = 0 haben.

Für jede Unbekannte wird eine Normalgleichung gebildet, indem man jede Beobachtungsgleichung mit dem Koeffizienten, welchen die betreffende Unbekannte in ihr hat, multipliziert und die Resultate addiert. Die entstehenden Normalgleichungen werden aufgelöst für alle Unbekannten, wobei bei Multiplikationen die Vorzeichen der Koeffizienten zu beachten sind.

[1]) Wir führen bei der weiteren Berechnung die Grösse der rel. Trockenheit ein. Diese Bezeichnungsweise ist von Rubner angegeben: „Man kennt genau, wie viel die Luft bei absoluter Trockenheit Wasserdampf bei bestimmter Temperatur aufnehmen kann und setzt damit in Beziehung jene Wassermenge, welche bis zur völligen Sättigung in einem gegebenen Falle an Wasser mangelt. Die Berechnungsweise ist einfach und reciprok jener, mittels welcher die rel. Feuchtigkeit bestimmt wird.“ Rubner, l. c. S. 168.

Inbetreff der Art und Weise, wie wir die Sonnenbestrahlung in Rechnung stellen, muss noch folgendes bemerkt werden. Aus der grossen Abhandlung von Crova: Étude de l'entenuté calorifique de la radiation solaire au moyen de l'actinomètre en registreur[1]) entnehmen wir der Kurve der Sonnenbestrahlung (S. 544), dass der Wert der Wärmestrahlung ist:

$^1/_2$ Std. nach Sonnenaufg. = 0,33 cal. (Sonnenaufg. 4 h 31)
$1^1/_2$ „ „ „ = 0,8 „
$2^1/_4$ „ „ „ = 1,0 „ (um $6^3/_4$ Uhr.)

Dann schwankt der Wert bis 2 Uhr Nachmittags um 1,1 cal.

Da also die Energie der Sonnenbestrahlung von der zweiten Stunde nach dem Aufgang ab nicht mehr erheblich zunimmt, kommt für die späteren Marschstunden nur die mehr senkrechte Incidenz, also die verminderte Schattenwirkung in Betracht. Es ist deshalb die Besonnung während des ganzen Marsches durch den Index 6, während der ersten Hälfte durch 2, während der zweiten Hälfte durch 4 bezeichnet; hierbei kommt in Betracht, dass, wenn die letzten 3 Kilometer sonnig waren, noch + 1 hinzugerechnet wird, da während der letzten drei Kilometer wegen der Schattenlosigkeit des Weges die Besonnung besonders schwer empfunden wurde.

Zur Erläuterung der Berechnungsweise diene folgendes:

Der Versuch am 5./7., Marsch No. XXVIII (siehe Haupttabelle I. Herr P.), weist folgende Daten auf:

Lufttemp.: 18,1° C; rel. Feuchtigkeit: 67%; Wind: 0—1; abwechselnd sonnig und bewölkt. Die von der Haut verdampfte Wassermenge beträgt: 2248 g. Die Wärmeproduktion auf dem Marsche beträgt: 1749 Calorien.

Wenn wir die Unbekannten einsetzen und zwar statt 18,1° C Temp. = 8,1 x, statt 67% rel. Feuchtigkeit (= 33% rel. Trockenheit) = 33 y, statt 0—1 Wind = 5 z und abwechselnd sonnig und bewölkt = 2 s, und wenn wir die Wasserverdampfung pro 1000 Calorien Wärmeproduktion berechnen $\frac{2248}{1749} \times 1000 = 1285$, so erhalten wir folgende Beobachtungsgleichung:

$$8{,}1\ x + 33\ y + 5\ z + 2\ s + c = 1285.$$

Diese Berechnung, auf jeden Marsch angewandt, giebt uns die Beobachtungsgleichungen (siehe Grundtabelle I

[1]) Ann. de chim. et de phys. (6) t. XIV. 1888. S. 541.

und II), aus denen wir die Normalgleichungen für die einzelnen Unbekannten ableiten können. Die Normalgleichung für c, welches stets den Koefficienten 1 hat, erhalten wir durch Addition aller Beobachtungsgleichungen: z. B.

1.) $8{,}1\ x + 33\ y + 5\ z + 2\ s + c = 1285$

. . . . . .

. . . . . .

16.) $-0{,}5\ x + 12\ y + 25\ z + 0\ s + c = 489$

I. $91{,}4\ x + 552\ y + 306\ z + 36\ s + 16\ c = 14006$

Die zweite Normalgleichung ergiebt sich, wenn wir in jeder Beobachtungsgleichung beide Seiten mit demjenigen Koefficienten, den das Glied mit x in ihr hat, multiplizieren und die Resultate addieren. Also:

1.) $8{,}1 \cdot 8{,}1\ x + 33 \cdot 8{,}1\ y + 5 \cdot 8{,}1\ z + 2 \cdot 8{,}1\ s + 1 \cdot 8{,}1\ c = 1285 \cdot 8{,}1$

. . . . . .

. . . . . .

16.) $(-0{,}5) \cdot (-0{,}5)\ x + 12 \cdot (-0{,}5)\ y + 25 \cdot (-0{,}5)\ z + 0 \cdot (-0{,}5)\ s + 1 \cdot (-0{,}5)\ c = 489 \cdot (-0{,}5)$

II. $724{,}68\ x + 3416{,}5\ y + 1371{,}1\ z + 247{,}1\ s + 91{,}4\ c = 94010$

Die dritte Normalgleichung wird gefunden, indem man in jeder der Beobachtungsgleichungen mit demjenigen Koefficienten, den das y-Glied in ihr hat, multipliziert und dann die Resultate addiert, z. B.

1.) $8{,}1 \cdot 33\ x + 33 \cdot 33\ y + 5 \cdot 33\ z + 2 \cdot 33\ s + 1 \cdot 33\ c = 1285 \cdot 33$

. . . . . .

. . . . . .

16.) $(-0{,}5) \cdot 12\ x + 12 \cdot 12\ y + 25 \cdot 12\ z + 0 \cdot 12\ s + 1 \cdot 12\ c = 489 \cdot 12$

III. $3421{,}5\ x + 20752\ y + 10384\ z + 1456\ s + 552\ c = 504909$

Multiplizieren wir in gleicher Weise mit den Koefficienten der z- und s-Glieder und addieren die Resultate, wie vorstehend angegeben, so erhalten wir zwei weitere Normalgleichungen.

Wir haben uns somit 5 Hauptgleichungen mit 5 Unbekannten verschafft. Diese werden nach der Substitutionsmethode in bekannter Weise gelöst. Wir erhalten so eine Antwort auf die Frage, welche Bedeutung einem jeden der wirkenden Faktoren einzeln für die Wasserverdampfung zukommt.

Wir fanden folgende Resultate:

	g Wasser bei Herrn P.	Herrn B.	im Mittel:
Für 1 °C Temperaturzuwachs (x) kommt mehr zur Verdampfung . . .	74,99	24,49	49,74
„ 1 % Zunahme der rel. Trockenheit (y) . . .	1,97	4,39	3,18
„ 1 Einheit Sonnenbestrahlung (s)	—9,48	+24,49	7,51
„ $^1/_{10}$ Einheit der 10teiligen Windskala (z) . . .	3,93	5,71	4,82
für die Konstante . . .	326,69	605,12	465,91

Man sieht an diesen Zahlen, dass die Sicherheit, mit der die Wirkung der einzelnen Faktoren durch die Berechnung bestimmt ist, keine sehr grosse ist. Das wird man auch dann anerkennen müssen, wenn man zugiebt, dass individuelle Unterschiede zwischen Herrn P. und Herrn B. bestehen. Die Existenz solcher wird übrigens schon dadurch bewiesen, dass Herr B. ceteris paribus weniger Wasser verdunstet als Herr P. Vor allzu grossem Vertrauen in die absolute Richtigkeit der Rechnungsergebnisse werden wir auch bewahrt, wenn wir dieselben benutzen, um das Soll der Wasserverdunstung für die einzelnen Versuche zu berechnen. Wir haben dies gethan und die Ergebnisse in die letzten Kolonnen der Grundtabellen I und II eingetragen. Beim Vergleich der berechneten Werte mit den gefundenen stellen sich erhebliche Differenzen in einer Zahl der Versuche heraus. Ein Teil der Abweichungen erklärt sich aus dem Vorhandensein besonderer störender Momente. So machten bei Herrn P. (siehe Grundtabelle I) bei Marsch No. XIV Regenschauer die Bestimmung der Wasserverdunstung ungenau. In Marsch No. XXI wurde die Perspiratio insensibilis, wie sich aus der Konzentration des Blutes ergab, sicherlich falsch bestimmt. Bei Herrn B. modifizierten in Marsch XXV (siehe Grundtabelle II) Fussschmerzen die Wasserdampfabgabe. In einigen Fällen aber, so bei Herrn P. in Marsch XI, XIX und XXVIII, bei Herrn B. in Marsch XI lässt sich eine Erklärung für die Differenzen nicht finden. Es bleibt daher immerhin zu erwägen, ob nicht vielleicht die Grundlagen der Berechnung unrichtige sind, insofern nämlich die Annahme, der Einfluss eines jeden Faktors auf die Wasserverdunstung wachse in einfach linearem Ver-

hältnis mit dem Faktor, nicht zutrifft oder ob nicht irgend ein einflussreiches Moment bei Ansetzung der Gleichungen vernachlässigt ist, — oder ob der Grund nicht darin liegt, dass die einzelnen Beobachtungen über die Grösse der Perspiratio insensibilis mit einem erheblichen Fehler behaftet sind. Es war in der That nicht möglich, die auf dem Marsch aufgenommenen Mengen fester und flüssiger Nahrung auf der Wage genau zu bestimmen. Es wurde vielmehr das Gewicht der belegten Butterbrode und ähnlicher Nahrungsmittel nach Durchschnittszahlen taxiert. Ebenso geschah die Messung der Getränke nicht in genauen Masscylindern, sondern in den Trinkgefässen selbst. Glücklicherweise haben wir einen Anhaltspunkt, die Grösse der auf diesem Wege gemachten Fehler annähernd zu bestimmen, da wir einmal die Gewichtsabnahme der 5 unter gleichen Verhältnissen marschierenden Herren miteinander vergleichen und andererseits die fast in jedem Falle festgestellte Konzentration des Blutes zur Prüfung der Richtigkeit der Verdunstungswerte benutzen können; denn in erster Annäherung dürften der Wasserverlust des Körpers und die Eindickung des Blutes einander parallel gehen.

Bei der auf diese Weise ausgeführten Kontrolle ergab sich nun, dass in einer ganzen Reihe von Fällen, wo erheblichere Abweichungen zwischen der berechneten und gefundenen Verdunstungsgrösse stattfanden, ohne dass besondere Umstände (Regen, Fussschmerzen etc.) sie bedingten, diese Differenzen aus einem Fehler in der Bestimmung der Nahrungs- und Wasseraufnahme möglicherweise erklärt werden konnten.

Um diesen Fehler möglichst auszugleichen, wurde eine neue Berechnung in der Weise vorgenommen, dass für jeden in Betracht kommenden Marsch die Grösse der Wärmeproduktion auf Grund der vor und nach dem Marsch an Herrn P. und Herrn B. vorgenommenen Respirationsversuche berechnet wurde. Zur Berechnung des Wasserverlustes diente der Durchschnitt der an sämtlichen beim Marsch beteiligten Herren gefundenen Perspiratio insensibilis.

Die Art der Berechnung zeigt folgendes Beispiel:

Marsch XXVIII. 5./7. Belastung 22 kg.

Es beträgt:	Körpergewicht	Weglänge	Gewichts-verlust	Wasser-verdunstung	Wärme-produktion
bei Herrn B.	62,66 kg	28,25 km	1,900 kg	1602	1936
„ „ P.	66,95 kg	27,12 km	1,693 kg	1435	1749
„ „ S.	77,64 kg	24,75 km	1,865 kg		
„ „ F.	65,61 kg	24,75 km	1,425 kg		

Gewichtsverlust des Herrn B + P = 1900 + 1693 = 3593
Wasserverdunstung „ „ „ = 1602 + 1435 = 3037
Gewichtsverlust aller Marschierenden = 1900 + 1693 + 1865 + 1425 = 6883.

Wir nehmen nun an, dass sich der Gewichtsverlust von B + P zu dem Gewichtsverlust aller Marschierenden, wie die Wasserverdunstung von B + P zu derjenigen aller Herren verhält.

also: 3593 : 6883 = 3037 : x

x = 5818 g = Summe des von allen Marschierenden zusammen verdampften Wassers.

Die Arbeitsleistung, die der Summe aus Körpergewicht und Belastung, multipliziert mit dem Weg, entspricht, ist

bei Herrn B = (62,66 + 22,00) . 28,25 = 2391,7 }
„ „ P = (66,95 + 22,00) . 27,12 = 2412,3 } zus. 4804,0
„ „ S+F = (77,64 + 65,61 + 2 . 22,00) . 24,75 = 4634,6

Arbeitsleistung aller Marschierenden 9438,6

Die Wärmeproduktion des Herrn B + P = 3685 Cal.

Es verhält sich nun die Arbeitsleistung von B + P zu der Arbeitsleistung aller Herren, wie die Wärmeproduktion von B + P zu der von allen Marschierenden zusammen produzierten Wärmemenge; also:

4804 : 9438,6 = 3685 : x

x = 7240 Cal. sind von allen Herren zusammen produziert. Auf 7240 Cal. Wärmeproduktion kommt, wie wir eben sahen, 5818 g Wasserverdunstung; das ist
auf 1000 Cal. Wärmeproduktion 804 g Wasserverdunstung.

Die gleiche Rechnung wurde für jeden Marschtag ausgeführt. An den ursprünglichen Protokollen der berechneten Märsche wurden keinerlei Korrekturen vorgenommen. Es ist nur zu bemerken, dass bei Marsch Nr. XXIV Herr F., dessen Gewichtsverlust sicher falsch bestimmt war, ausgelassen ist. Aus gleichem Grunde ist bei Marsch XXVI Herr C. eliminiert. Herr B. musste an diesem Tage fortbleiben, weil er 4 km weniger marschierte als die übrigen Herren.

Auf Grund der gewonnenen Durchschnittswerte stellten wir die Beobachtungsgleichungen auf, die in

Grundtabelle III enthalten sind. Es ist hervorzuheben, dass wir in diesen Gleichungen eine neue Unbekannte (p) für die Belastung eingeführt haben. Wir haben schon oben erwähnt, dass die bei der Ausgleichsrechnung an den Versuchen des Herrn P. und B. erzielten Ergebnisse uns die Frage nahe legten, ob nicht irgend ein Faktor bei Aufstellung der Gleichungen unberücksichtigt geblieben sei. Am nächsten lag es, daran zu denken, dass wir den Einfluss der Belastung nicht genügend beachtet hätten. Es war diesem Moment nur insofern Rechnung getragen worden, als der den Beobachtungsgleichungen zu Grunde gelegte Wert für die Wasserverdunstung auf 1000 Calorien Wärmeproduktion berechnet war. Die Wärmeproduktion aber wächst, wie selbstverständlich, der Belastung proportional. Um nun zu prüfen, ob dem Moment der Belastung noch weitere Bedeutung zukomme, setzten wir p= Zuwachs der Wasserverdunstung in g für 1 kg Belastung; dabei betrachteten wir die niedrigste bei den Versuchen zur Anwendung gekommene Belastung (20 kg) als Nullwert.

Aus den neu aufgestellten Beobachtungsgleichungen, welche in Grundtabelle III zusammengestellt sind, erhält man nach der oben angegebenen Methode die Normalgleichungen. Ihre Auflösung ergiebt uns folgende Resultate:

$$x = 38$$
$$y = -4$$
$$z = -7$$
$$s = -1$$
$$p = 10$$
$$c = 799$$

Es zeigt sich in der That, dass die Belastung in stärkerem Masse, als sie den Stoffumsatz und damit die Wärmeproduktion steigert, auf die Wasserverdunstung einwirkt. Jedes Kilo Mehrbelastung steigert in den Grenzen zwischen 20 und 31 kg die Wasserverdunstung auf 1000 Calorien um 10,5 g. Abgesehen von der erhöhten Arbeitsleistung, scheinen hier noch besondere Momente auf die Innervation der Schweissdrüsen einzuwirken. Das ist wohl verständlich, wenn wir bedenken, dass unangenehme Sensationen, Schmerz, ja auch rein psychische Momente die Thätigkeit der Schweissdrüsen in Gang bringen.

Betrachten wir die weiteren Resultate unserer neuen Ausgleichsrechnung, so ist man vielleicht von vornherein geneigt, das

Ergebniss der Rechnung mit Misstrauen zu betrachten, namentlich wegen der negativen Werte der verschiedenen Faktoren, welchen wir gewohnt sind eine grosse Bedeutung für die Wasserverdunstung beizumessen. Solche Bedenken müssen sich aber einigermassen beruhigen, wenn wir die aus den rechnerischen Ergebnissen ermittelten Werte mit den wirklich gefundenen vergleichen. Es zeigt sich dann, wie die letzten Kolonnen der Grundtabelle III lehren, eine sehr befriedigende Uebereinstimmung. Wir müssen deshalb jene scheinbaren Paradoxien als thatsächlich begründet ansehen und nach einer Erklärung für dieselben uns umthun.

Das einigermassen paradoxe Resultat, dass die Besonnung mit negativen Vorzeichen figuriert, d. h. dass pro 1000 Calorien Wärmeproduktion weniger Wasser verdunstet wird, wenn die Sonne scheint, verliert bei näherer Betrachtung das Unwahrscheinliche, was ihm im ersten Moment anhaftet. $^5/_6$ des Marsches fand unter Bäumen resp. im Walde statt, wo die Sonne kaum wirkte. Uebrigens ist auch der negative Wert für s (= Einheit der Sonnenbestrahlung) so klein, dass er ganz in die Fehlergrenzen der Berechnung fällt und man also richtiger sagen muss: Ein Einfluss der Besonnung ist unter den besonderen Verhältnissen dieser Märsche nicht nachweisbar.

Für die Trockenheit der Luft aber zeigt folgende Berechnung, dass selbst bei 98% rel. Feuchtigkeit (= 2% rel. Trockenheit) die mit dem marschierenden Körper in Berührung kommende Luftmenge so gross ist, dass alles gebildete Wasser zur Verdampfung kommen kann. Nehmen wir die Oberfläche des Körpers = 1,5 qm an, so wird bei jedem Meter Vorwärtsbewegung 1,5 cbm neue Luft oder richtiger, da nur wesentlich die Seitenflächen des Körpers in Betracht zu ziehen sind, etwa $^1/_4$ dieser Menge, etwa 0,3—0,4 cbm neuer Luft mit dem Körper in Berührung kommen.. Bei einer Lufttemperatur von 15° C ist die Tension des Wasserdampfes = 12,67 mm Hg. Es ist in 0,4 cbm Luft enthalten $\frac{400 \,.\, 12{,}67}{760}$ = 7 l Wasserdampf. 7 l Wasserdampf wiegen bei 19° C = 6,6 g. Wenn also auch die Luft zu 98% mit Feuchtigkeit gesättigt ist, kann sie noch bei Windstille pro Meter Marsch $\frac{2 \,.\, 66}{100}$ = 0,13 g Wasserdampf aufnehmen. Das ergiebt pro Kilometer

130 g und auf einem Marsch von 24 km = 3100 g, d. h. bedeutend mehr als im Durchschnitt verdunstet wurde.

Zunehmende Trockenheit wird deshalb hauptsächlich den Effekt haben, dass sie die Feuchtigkeit in den Unterkleidern vermindert, da der hygroskopische Wassergehalt der Stoffe nach Coulier, Pettenkofer und Boubnoff in direktem Verhältnis zur rel. Feuchtigkeit der Luft steht. Am wenigsten hygroskopisch ist Leinwand, dann folgt Baumwolle, Seide und Wolle; letztere kann nach Linroth auf 1000 Teile bis zu 273 Teile hygroskopisches Wasser aufnehmen. Dadurch, dass das hygroskopische und zwischengelagerte Wasser die Luft aus den Kleiderstoffen verdrängt und die Poren der Stoffe verschliesst, wird zwar, wie Rubner schlagend bewiesen hat[1]), die Wärmeabgabe durch Leitung erhöht, zugleich aber wird die Durchgängigkeit der Stoffe für Luft vermindert, die Luftbewegung in den Kleidern erheblich herabgesetzt. Wie bedeutend dieser Luftaustausch ist, beweisen die Versuche Pettenkofers[2]), nach denen bei einem Wasserdruck von 4—5 cm (was dem Druck eines sehr starken Windes entspricht) folgende Luftmengen in 1 Minute durch 1 cm^2) hindurchtreten:

Bei	Leinwand . . .	6	Liter
„	Flanell	10,4	„
„	Boxkin	6,1	„
„	Seidenzeug . . .	4,1	„

Die hierbei untersuchten Stoffe waren von ungleicher Dicke; verwendet man solche von gleichem Durchmesser, so drückt sich der durch die Webart gegebene Widerstand deutlicher aus:

Man findet bei trockenem Stoff:

glattgewebte
Baumwolle = 0,207 l p. 1 Min. bei 0,34 m Wasserdruck
Tricotstoff = 1,027 l „ 1 „ „ „ „ „
Flanellstoff = 1,138 l „ 1 „ „ „ „ „

Es vermag die Luftbewegung in den Kleidern also bedeutende Wärmemengen fortzuführen. Wird bei erhöhter relativer Feuchtigkeit der Luft dieser Weg der Wärmeabgabe mehr oder minder versperrt, so scheint die gesteigerte Wärmedurchgängigkeit der Kleider allein nicht

[1]) Rubner, Lehrbuch der Hygiene. 5. Aufl. 1895. S. 71.
[2]) Siehe: Rubner, Hygiene. S. 66—67.

einen genügenden Ausgleich herbeiführen zu können, es muss vielmehr durch stärkere Thätigkeit der Schweissdrüsen und daran anschliessende stärkere Verdunstung herausgeschafft werden, was an Wärme im Körper sich angehäuft hat. Zu dieser bedeutenderen Verdunstung sind ja, wie wir gesehen haben, auch bei sehr feuchter Luft die Bedingungen vorhanden. Einen kleinen Anteil an der stärkeren Schweisssekretion bei feuchter Luft dürfte ferner der Umstand haben, dass mehr Schweiss in Tropfen vom Körper abfällt und so seinem eigentlichen Zweck der Verdampfung auf der Körperoberfläche entzogen wird. Ein weiteres erklärendes Moment ist vielleicht darin gelegen, dass bei höherer relativer Luftfeuchtigkeit auch die peripher gelegenen Schichten der Kleider von Feuchtigkeit durchtränkt werden und so die Wasserverdunstung, weiter von der Körperoberfläche entfernt stattfindend, mit ihrer wärmeentziehenden Kraft weniger dem Körper als vielmehr der vorbeistreichenden Luft zugute kommt.

Dass die Wirkung des Windes auf die Wasserverdunstung in unserem Resultat durch eine negative Grösse dargestellt wird, ist leicht zu verstehen. Die Förderung, die die Wasserverdunstung durch die Luftbewegung erfährt, wird bedeutend überkompensiert durch die abkühlende, direkt wärmeentziehende Wirkung des Windes. Da der Körper durch Leitung Wärme an die ihn umgebende Luftschicht abgiebt, und da letztere bei bewegter Luft rascher erneuert wird, so fliesst auf diesem Wege eine bedeutende Menge Wärme ab. Es tritt somit eine erhebliche Abkühlung des Körpers ein, so dass dieser nicht nötig hat, das Sekretionsorgan der Haut zum Zweck der Wärmebindung durch Wasserverdunstung in regere Thätigkeit zu setzen.

Es ist somit die Wasserverdunstung der Hauptmasse nach von den meteorologischen Verhältnissen unabhängig und einfach der Grösse der Wärmeproduktion proportional. Unter den meteorologischen Faktoren kommt die grösste Bedeutung der Aussentemperatur zu. Eine Mehrverdunstung von 38 g entspricht einer Temperaturerhöhung um 1° C. Dies bewirkt bei einigermassen erheblichen Temperaturunterschieden ziemlich beträchtliche Differenzen in der Grösse der Wasserverdunstung, so z. B. beträgt am 3. 7. Marsch XXVI bei einer Temperatursteigerung von 16° C der entsprechende Zuwachs der Wasserverdunstung

608 g. Obgleich nun die erhöhte Lufttemperatur direkt auf die Verdunstung nach dem physikalischen Gesetz fördernd einzuwirken vermag, so ist ihr Einfluss auf die Grösse der Wasserverdampfung von der Körperoberfläche doch ein mehr indirekter. Eine Steigerung der Aussentemperatur hat eine Verminderung des Wärmeabflusses durch Leitung und Strahlung vom Körper zur Folge. Da nun beim Marschierenden zugleich auch die Wärmeproduktion erhöht ist, so wird der Körper ein Ansteigen seines Wärmevorrates erfahren. Dadurch wird aber, wie wir oben gesehen, die Schweisssekretion erregt und das in erhöhtem Masse auf die Hautoberfläche entleerte Wasser kann bei seiner Verdunstung die überflüssig angehäufte Wärme kompensieren, zumal der Prozess der Wasserverdunstung durch die erhöhte Lufttemperatur noch begünstigt wird.

Die einzelnen Faktoren, die von Bedeutung für die Wasserverdunstung sind, scheinen also wesentlich in dem Sinne wirksam zu sein, dass sie die Schweisssekretion beeinflussen, sie erhöhen oder erniedrigen. Die Grösse der Wasserverdunstung wird daher beim Marschierenden bestimmt hauptsächlich durch die Höhe der Schweissabsonderung, da das vom Körper hergegebene Wasser gewöhnlich leicht zur Verdunstung kommen kann. Je nachdem, entsprechend den meteorologischen Verhältnissen, mehr oder weniger erhebliche Wärmemengen auf dem Wege der Leitung und Strahlung vom Körper ausgegeben werden, je nachdem wird auch das Sekretionsorgan der Haut in geringerem oder höherem Grade in Anspruch genommen. Es ist interessant zu sehen, wie auch dies Hautorgan zu einer vollkommenen Exaktheit der Funktion einer gewissen Uebung, eines Trainings bedarf. Bei der Gegenüberstellung der gefundenen und berechneten Grössen für die Wasserverdampfung der einzelnen Marschtage (s. Grundtabelle III) nämlich fällt auf, dass in den ersten Märschen der gefundene Wert den berechneten stets überragt, während in den späteren Versuchen das Verhältnis meist umgekehrt ist. Es wurde also in den ersten Marschtagen im Verhältnis mehr Schweiss secerniert als an den späteren, an denen der durch Uebung exakter funktionierende Mechanismus leichter und genauer dem Bedürfnis des Körpers gerecht zu werden vermochte.

Wenn auch die letzthin besprochenen Resultate der

zweiten Ausgleichsrechnung unter Ausschluss möglichst aller Fehlerquellen gewonnen sind, so mahnt doch die auffallende Differenz gegenüber den Ergebnissen der zuerst für Herrn B. und Herrn P. gesondert angestellten Rechnung zur Vorsicht in der Beurteilung der gefundenen Werte. Die Abweichungen sind immerhin so bedeutende, dass auch die zuletzt festgestellten Grössen einen Anspruch auf absolute Genauigkeit nicht erheben können. Es bedarf also unbedingt erheblich grösserer Beobachtungsreihen, um zu sicheren Resultaten auf diesem Gebiete zu gelangen. Wenn wir also gestehen müssen, dass es uns nicht gelungen ist, das uns vorschwebende Ziel zu erreichen, so dürfte doch im Vorstehenden der Weg gewiesen sein, der uns ans Ziel zu führen vermag.

Das Ergebnis unserer Untersuchungen mag in folgenden Sätzen zusammengefasst werden. Die vom Organismus gebotene Regulierung der Eigenwärme des Marschierenden ist eine sehr vollkommene. Die Wasserverdunstung allein vermag, wenn wirklich alles vom Körper hergegebene Wasser zur Verdampfung kommt, fast die gesammte produzierte Wärme zu binden. Gewöhnlich aber wird ein Teil des sezernierten Wassers in den Kleidern zurückgehalten, sodass durch die Wasserverdunstung in den meisten Fällen nur etwas mehr als die Hälfte der Gesamtwärmeproduktion kompensiert wurde. Die Höhe der Wasserverdunstung hängt lediglich von der Grösse der Schweisssekretion ab, da auf dem Marsche im allgemeinen die Bedingungen für die Wasserverdampfung sehr günstige sind. Die Höhe der Schweisssekretion aber wird vor allem durch die Grösse der Wärmeproduktion und im Zusammenhang damit durch die Belastung bestimmt. Solange der Körper nicht an Wasser verarmt und die Verdunstungsbedingungen nicht allzu ungünstige sind, ist der Organismus vollkommen befähigt, sich vor Ueberhitzung zu schützen.

Zum Schluss ist es mir eine angenehme Pflicht, Herrn Professor Dr. Zuntz und Herrn Stabsarzt Dr. Schumburg für die Ueberlassung des Materials und die liebenswürdige Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit meinen ehrerbietigsten Dank auszusprechen.

Grundtabelle I.

Wasserverdunstung des Herrn P. pro 1000 Calorien Wärmeproduktion.

Marsch No.	Datum	Temperatur X	rel. Trockenheit Y	Windstärke Z	Besonnung S	Wasserverdunstung pro 1000 Cal. gefunden	Wasserverdunstung pro 1000 Cal. berechnet	Abweichung des berechneten Wertes +	Abweichung des berechneten Wertes —
X.	23. 5.	—0,5	12	25	0	489	401,2		77,8
XI.	28. 5.	3,3	37	15	2	976	689,2		286,8
XII.	29. 5.	3,1	41	15	4	747	661,2		85,8
XIII.	30. 5.	3,8	39	15	5	879	700,3		178,7
XIV.	2. 6.	6,0	32	0	0	559	839,9	280,9	
XVI.	6. 6.	7,8	40	0	2	888	971,6	83,6	
XVIII.	13. 6.	3,0	24	35	0,5	946	737,1		208,9
XIX.	16. 6.	4,5	30	20	1,5	424	787,1	363,1	
XX.	19. 6.	5,7	18	35	0,5	1017	923,0		94,0
XXI.	20. 6.	4,6	41	30	5	373	822,2	449,2	
XXIII.	26. 6.	4,0	46	50	1	919	905,0		14,0
XXIV.	27. 6.	5,8	41	35	3	818	952,2	134,2	
XXV.	28. 6.	8,5	49	16	4	1272	1105,6		166,4
XXVI.	3. 7.	16,4	46	5	5	1690	1619,7		70,3
XXVII.	4. 7.	7,3	23	5	1	751	929,8	178,8	
XXVIII.	5. 7.	8,1	33	5	2	1285	1000,0		285,0
		91,4	552	306	36	14033		1489,8	1467,7

Grundtabelle II.

Wasserverdunstung des Herrn B. pro 1000 Cal. Wärmeproduktion.

Marsch No.	Datum	Temperatur	rel. Trockenheit	Windstärke	Besonnung	Wasserverdunstung pro 1000 Calorien		Abweichung des berechnet. Wertes	
		X	Y	Z	S	gefunden	berechnet	+	—
X.	23. 5.	— 0,5	12	25	0	854	682,5		171,5
XI.	28. 5.	3,3	37	15	2	962	657,7		304,3
XIII.	30. 5.	3,8	39	15	5	491	734,6	243,6	
XIV.	2. 6.	6,0	32	0	0	378	611,3	233,3	
XVI.	8. 6.	2,7	10	35	0	914	826,8		87,2
XVIII.	13. 6.	3,0	24	35	0	521	772,5	251,5	
XIX.	16. 6.	4,5	30	20	1,5	716	734,2	18,2	
XX.	19. 6.	5,7	18	35	0,5	977	877,4		99,6
XXI.	20. 6.	4,6	41	30	5	642	830,9	188,9	
XXIII.	26. 6.	4,0	46	50	1	693	810,2	117,2	
XXV.	28. 6.	8,5	49	16	4	1335	787,0		548,0
XXVI.	3. 7.	16,4	46	5	5	879	955,5	76,5	
XXVIII.	5. 7.	8,1	33	5	2	660	735,9	75,9	
		70,1	417	286	26,0	10022		1205,1	1210,6

Grundtabelle III.

Durchschnittliche Wasserverdunstung der fünf Herren pro 1000 Calorien Wärmeproduktion.

Marsch No.	Datum	Temperatur	rel. Trockenheit	Windstärke	Bewölkung	Last	Wasserverdunstung pro 1000 Calorien		Abweichung des berechnet. Wertes	
		X	Y	Z	S	P	gefunden	berechnet	+	−
X.	23. 5.	—0,5	12	25	0	7,5	771	635,5		135,5
XI.	28. 5.	3,3	37	15	2	7,0	768	738,7		29,3
XII.	29. 5.	3,1	41	15	3	7,0	827	713,9		113,1
XIII.	30. 5.	3,8	40	15	6	7,0	813	741,2		71,8
XV.	6. 6.	7,8	40	0	4	11,3	926	1043,9	117,9	
XVI.	8. 6.	2,7	10	35	0	11,3	759	734,5		24,5
XVIII.	13. 6.	3,0	24	35	0	11,0	680	685,4	5,4	
XIX.	16. 6.	4,5	30	26	2,5	7,0	654	735,4	81,4	
XXI.	20. 6.	4,6	41	30	6	7,2	530	664,6	134,6	
XXIV.	27. 6.	5,8	41	20	4	11,0	694	821,7	127,7	
XXV.	28. 6.	8,5	49	16	5	11,0	1067	917,6		149,4
XXVI.	3. 7.	16,4	46	0	6	2,2	1378	1245,4		132,6
XXVII.	4. 7.	7,3	23	5	2	2,3	927	967,0	40,0	
XXVIII.	5. 7.	8,1	33	5	2	2,0	804	953,0	149,0	
		78,40	467,00	242,00	42,50	104,80	11598,00		656,0	656,2

Normalgleichungen aus den Beobachtungsgleichungen (Grundtabelle I):

I. 724,68 x + 3421,5 y + 1371,0 z + 247,1 s + 91,4 c = 94010
II. 3421,50 x + 20752,0 y + 10384,0 z + 1456,0 s + 552,0 c = 504909
III. 1371,00 x + 10384,0 y + 9106,0 z + 621,5 s + 306,0 c = 253192
IV. 247,10 x + 1456,0 y + 621,5 z + 132,5 s + 36,0 c = 34353
V. 91,40 x + 552,0 y + 306,0 z + 36,0 s + 16,0 c = 14033

Normalgleichungen aus den Beobachtungsgleichungen (Grundtabelle II):

I. 574,09 x + 2603,7 y + 1179,5 z + 194,3 s + 70,1 c = 56540
II. 2603,7 x + 15701 y + 8819 z + 1066 s + 417 c = 323628
III. 1179,5 x + 8819 y + 8856 z + 451,5 s + 286 c = 224850
IV. 194,3 x + 1066 y + 451,5 z + 102,5 s + 26 c = 20900
V. 70,1 x + 417 y + 286,0 z + 26,0 s + 13 c = 10022

Normalgleichungen aus den Beobachtungsgleichungen (Grundtabelle III):

I. 647,48 x + 2973,70 y + 924,00 z + 303,65 s + 510,29 p + 78,40 c = 73468,50
II. 2973,70 x + 17467,00 y + 7154,00 z + 1715,00 s + 3460,30 p + 467,00 c = 398373,00
III. 924,00 x + 7154,00 y + 6032,00 z + 590,00 s + 2098,50 p + 242,00 c = 178271,00
IV. 303,65 x + 1715,00 y + 590,00 z + 192,25 s + 303,70 p + 42,50 c = 37255,00
V. 510,29 x + 3460,30 y + 2098,50 z + 303,70 s + 936,60 p + 104,80 c = 83695,70
VI. 78,40 x + 467,00 y + 242,00 z + 42,50 s + 104,80 p + 14,00 c = 11598,00

Haupttal

Resultate der Berechnung

aus den Versuch

Marsch Nr.	Datum	Meteorologische Daten: Mittl. Lufttemperatur °C.	Mittl. rel. Feuchtigkeit in %	Windstärke und Richtung	Besonnung	Belastung in kg	Länge des Marsches in km	Reelle Gewichtsabnahme in g
X.	23./5	9,5	88,0	N 2---3	Bewölkt	27,5	24,027	1092
XI.	28./5	13,3	63,0	NW 1—2	Sonnig-bewölkt	27,5	22,577	1785
XII.	29./5	13,1	58,9	SSW 1—2	Sonnig-bewölkt	27,5	23,800	1505
XIII.	30./5	13,8	60,5	WSW 1—2	Sonnig	27,5	25,908	1885
XIV.	2./6	16,0	68,4	O	Bewölkt	27,5	27,597	1415
XVI.	6./6	17,8	60,0	O	Sonnig-bewölkt	31,0	23,535	1840
XVIII.	13./6	13,0	75,8	NW 3—4	Bewölkt	31,0	27,473	2295
XIX.	16./6	14,5	69,8	NW 3—1	Bewölkt	27,0	27,552	1140
XX.	19./6	15,7	81,8	W 3—4	Bewölkt	31,0	27,065	2384
XXIII.	26./6	14,0	54,3	WNW 5	Meist bewölkt	31,0	26,735	2225
XXIV.	27./6	15,8	59,1	NNW 3—4	Bewölkt-sonnig	31,0	26,967	1976
XXV.	28./6	18,5	51,4	1,2—3	Meist sonnig	31,0	26,872	2924
XXVI.	3./7	26,4	54,0	C—1	Sonnig	22,0	26,047	2850
XXVII.	4./7	17,3	77,3	0—1	Bewölkt-sonnig	22,0	27,184	1575
XXVIII.	5./7	18,1	67,0	0—1	Sonnig-bewölkt	22,0	27,120	1693

II. Aus den Versu

X.	23./5	9,5	88,0	N 2—3	Bewölkt	27,5	24,493	1655
XI.	28./5	13,3	63,0	NW 1—2	Sonnig-bewölkt	27,5	22,979	1680
XIII.	30./5	13,8	60,5	WSW 1—2	Sonnig	27,5	27,149	1175
XIV.	2./6	16,0	68,4	O	Bewölkt	27,5	24,398	885
XVI.	8./6	12,7	90,4	WNW 3—4	Bewölkt	31,0	22,252	1570
XVIII.	13./6	13,0	75,8	NW 3—4	Bewölkt	31,0	27,237	1205
XIX.	16./6	14,5	69,8	NW 3—1	Bewölkt	27,0	27,986	1580
XX.	19./6	15,7	81,8	W 3—4	Bewölkt	31,0	27,539	2115
XXI.	20./6	14,6	58,8	NW 3	Brennende Sonne	27,0	27,536	1465
XXIII.	26./6	14,0	54,3	WNW 5	Meist bewölkt	31,0	27,039	1565
XXV.	28./6	18,5	51,4	1,2—3	Meist Sonne	31,0	26,917	1865
XXVI.	3./7	26,4	54,0	0—1	Sonnig	22,0	26,248	1845
XXVIII.	5./7	18,1	67,1	0—1	Sonnig-bewölkt	22,0	28,253	1900

belle I.

der Wasserverdunstung

n an Herrn P.

Gewichtsverlust durch ausg. C. aus der CO_2 berechnet	Gewichtszunahme durch aufgen. O_2	Wasserverlust des Körpers in toto	Wassermenge in den Kleidern	Verdampfte Wassermenge			Calorischer Wert			Wärmemenge		
				in toto	von den Lungen	von der Haut	des verdampften Wassers	des Wassers in den Kleidern	des gesamt. v. Körper abgeg. Wassers	produziert auf dem Marsche	prod. in der Ruhe ber. f. d. Dauer des Marsches	die auf dem Marsche prod. ist, übersteigt die Prod. in der Ruhe
in g	in g	in g	in g	in g	in g	in g	in Cal.	in Cal.	in Cal.	in Cal.	in Cal.	um Cal.
165	98			1026	206	820	596			1725	358	1367
149	89			1725	198	1527	1002			1588	343	1245
160	95			1440	205	1235	837			1686	351	1335
175	104			1814	227	1587	1054			1836	384	1452
189	113			1339	263	1076	778			1977	424	1553
167	99			1772	211	1561	1029			1786	351	1435
203	121			2213	252	1961	1285			2104	394	1710
184	110			1066	233	833	619			2029	392	1637
196	116			2305	233	2072	1339			2064	404	1660
196	117	2726	580	2146	269	1877	1246	337	1583	2078	395	1684
194	115	2436	538	1898	236	1662	1102	313	1415	2065	401	1664
196	117	3184	335	2845	285	2560	1652	195	1847	2040	426	1613
159	100	3366	575	2791	169	2622	1619	334	1952	1711	364	1346
167	100	2502	995	1508	197	1311	876	577	1453	1775	403	1372
170	106	2441	812	1629	220	1409	945	472	1416	1749	419	1330
chen an Herrn B.												
151	85			1589	214	1375	923			1639	330	1309
137	78			1621	196	1425	941			1506	315	1191
167	94			1102	236	866	640			1821	362	1459
149	84			820	236	584	477			1620	391	1229
134	88			1524	176	1348	885			1498	298	1199
168	110			1147	227	920	666			1815	354	1461
166	94			1508	239	1269	876			1811	360	1451
169	111			2057	271	1786	1195			1859	372	1487
166	94			1393	273	1120	809			1795	362	1432
167	109	1882	375	1507	265	1242	875	218	1093	1837	356	1480
168	110	2157	350	1807	285	1522	1048	204	1251	1839	385	1454
163	97	2129	350	1779	218	1561	1033	204	1237	1806	332	1474
178	106	2248	420	1828	256	1572	1060	244	1304	1936	387	1549

Thesen.

I.

Die Lumbalpunktion verdient als diagnostisch wichtiges Mittel auch in der Privatpraxis angewandt zu werden.

II.

Die Chorea ist zu den rheumatischen Erkrankungen zu zählen.

III.

Die Freigabe der Ausübung ärztlicher Thätigkeit ist zu verwerfen.

Lebenslauf.

Verfasser dieser Arbeit, Oskar Nehring, evangelischer Confession, Sohn des Professor Dr. Alfred Nehring zu Berlin, wurde am 12. November 1873 zu Wolfenbüttel, Herzogtum Braunschweig, geboren. Seine wissenschaftliche Vorbildung erhielt er auf dem Königlichen Luisen-Gymnasium zu Berlin, welches er Ostern 1892 mit dem Zeugnis der Reife verliess. Am 30. März wurde er in die Kaiser-Wilhelms-Akademie für das militärärztliche Bildungswesen zu Berlin aufgenommen, um alsbald vom 1. April bis 30. September 1892 seiner Dienstpflicht mit der Waffe bei der 7. Kompagnie des Kaiser - Alexander - Garde - Grenadier-Regiments Nr. 1 zu genügen. Er bestand am 14. Februar 1894 die ärztliche Vorprüfung, am 31. Januar 1896 das Tentamen medicum, am 7. Februar 1896 das Examen rigorosum.

Während seiner Studienzeit besuchte er die Vorlesungen, Kliniken und Kurse folgender Herren:

v. Bardeleben (†), v. Bergmann, du Bois-Reymond, Dilthey, Engler, Ewald, Fischer, Fritsch, Fränkel, Gerhardt, Goldscheider, Gurlt, Gusserow, Hartmann (†), Hertwig, Heubner, Israel, Jolly, Jürgens, R. Köhler, Köppen, Kossel, Kundt (†), G. Lewin, v. Leyden, Liebreich, v. Noorden, Olshausen, Oppenheim, Rubner, Salkowsky, F. E. Schulze, Schweigger, Schwendener, Strassmann, Trautmann, R. Virchow, Waldeyer.

Allen diesen Herren, seinen hochverehrten Lehrern, spricht Verfasser seinen ehrerbietigsten Dank aus.